

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

<http://dx.doi.org/10.35381/i.p.v3i5.1367>

Impacto de los derivados de la caña de azúcar sobre las propiedades físico-mecánicas del hormigón

Impact of sugarcane derivatives on the physical-mechanical properties of concrete

Sócrates Pedro Muñoz-Pérez
msocrates@crece.uss.edu.pe
Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Chiclayo, Lambayeque
Perú
<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Ramiro Stalin Coronel-Camino
caminors@crece.uss.edu.pe
Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Chiclayo, Lambayeque
Perú
<https://orcid.org/0000-0002-2593-792X>

Julio César Vargas Villafuerte
vvillafuertejul@crece.uss.edu.pe
Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Chiclayo, Lambayeque
Perú
<https://orcid.org/0000-0002-7595-6862>

Recibido: 05 de abril de 2019
Revisado: 17 de mayo de 2019
Aprobado: 20 de junio de 2020
Publicado: 31 de julio de 2020

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo evaluar el comportamiento físico mecánico del hormigón con productos derivados de la caña de azúcar tales como (1) la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como reemplazo porcentual y gradual del cemento; y (2) la fibra de bagazo de caña de azúcar (FBCA) como reemplazo porcentual respecto al peso del agregado. Se revisó 46 artículos científicos referidos al tema entre la base de datos SCOPUS y SciELO, cuyos resultados encontrados fueron que al incorporar entre el 20% al 30% de CBCA incinerada entre 600°C y 800 °C mejora sustancialmente la trabajabilidad, resistencia a la compresión y flexión; por otra parte la incorporación de FBCA tratada (lavada y sumergida en hidróxido de calcio) en porcentajes que van del 0.5% al 1.5% respecto al peso del agregado, mejora también las propiedades de resistencia principalmente.

Descriptores: Ingeniería civil; construcción de viviendas; diseño arquitectónico. (Palabras tomadas de Tesouro UNESCO).

ABSTRACT

This Article aims to assess the mechanical physical behaviour of concrete with sugarcane products such as (1) sugarcane bagasse ash (CBCA) as a percentage and gradual replacement of cement; and (2) sugarcane bagasse fiber (FBCA) as a percentage replacement relative to the weight of the aggregate. 46 scientific articles on the subject were reviewed between the SCOPUS database and SciELO, the results of which were found to incorporate between 20% and 30% of CBCA incinerated between 600oC and 800oC substantially improves workability, compressure resistance and flexion; on the other hand the incorporation of treated FBCA (washed and submerged in calcium hydroxide) in percentages ranging from 0.5% to 1.5% compared to the weight of the aggregate, also improves resistance properties mainly.

Descriptors: Civil engineering; housing construction; building design. (Words taken from UNESCO Thesaurus).

INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material de amplia uso en la construcción que tiene alta resistencia y adaptabilidad (V.M. Sounthararajan, Y Stalin Jose, & S. Sivasankar, 2019), debido a sus buenas propiedades estructurales, de fácil fabricación y bajos costes; ante la creciente demanda de este producto se proponen alternativas ambientales que puedan ser ventajosas y económicas para ello es muy necesario desarrollar concreto con agregado no convencional (Sounthararajan, Sivasankar, Vinodh Kumar, Modak, & Dilli Bai, 2019). Actualmente la ingeniería ha tenido un gran avance en el desarrollo de materiales de construcción, como en la tecnología para producirlos, donde busca obtener materiales más sostenibles y eficientes. En general, la actividad de construcción está en continua evolución que, a veces, se puede percibir lentamente, pero sin duda está en constante evolución (Huertas, Martínez, & Espitia, 2019); ante ello la utilización de materiales alternativos es necesaria para lograr una producción de hormigón sostenible y duradera (Murugesan, Vidjeapriya, & Bahurudee, 2020). El aumento de los costos de la energía fósil y las preocupaciones ambientales han dado lugar a nuevas oportunidades para la producción de materiales biodegradables basados en recursos naturales (Boontima, Noomhorm, Puttanlek, Uttapap, & Rungsardthong, 2014) y uno de los mayores residuos agropecuarios del mundo es el bagazo de caña de azúcar que se obtiene a partir del proceso de trituración y extracción de su jugo, dicho material fibroso lo convierte en un ingrediente ideal (Y.R.Loh, D.Sujan, M.E.Rahman, & C.A.Das, 2013) y debido a su densidad relativamente baja, su contenido alto de humedad, sus características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas, es catalogado como un material adecuado para ser usado como Fibrorefuerzo (Hernández-Olivares, Medina-Alvarado, Burneo-Valdivieso, & Zúñiga-Suárez, 2020; Osorio Saraz, Varón Aristizabal, & Herrera Mejía, 2007). Las fibras vegetales son un tipo de compuestos renovables naturales que pueden satisfacer los requisitos de costo y resistencia; su estructura depende de la edad, el origen y las condiciones climáticas de la planta (Ruano et al., 2020). El bagazo de caña también al sufrir un proceso de calcinación en la industria azucarera, provoca residuos volátiles que han demostrado ser útiles en la construcción como adherente

puzolánico; la ceniza ha demostrado ser un buen componente puzolánico capaz de producir efectos en el comportamiento del concreto mejorando sus propiedades (Sajjad et al., 2017), pero la acción puzolánica obedece a la condición de combustión, relacionada con el proceso de calcinación (Duc, Yeong, & My Ngoc, 2018). La existencia de estos residuos pueden ser empleados como agregados complementarios los cuales no necesitan ser tratados antes de ser usados en la mezcla de concretos o morteros (Cabrera-Madrid, Escalante-García, & Castro-Borges, 2016), Además, diversas investigaciones sobre la producción de morteros y concretos usando cenizas de bagazo de caña de azúcar como un material suplementario con propiedades cementosas (MCS) ya han demostrado ser un procedimiento eficiente, sin pérdida de resistencia a compresión de las muestras probadas (Berenguer et al., 2018). Además de la resistencia a la compresión y la tracción, la resistencia a la adherencia y trabajabilidad del hormigón es un factor importante para los criterios de diseño estructural (Nasir, Asma, Muhd, & Hashem , 2016).

El presente trabajo se enfoca en la realización de una vasta revisión de literatura sobre el comportamiento de la mezcla de concreto al ser adicionado con desechos agrícolas como los derivados de la caña de azúcar y como estos influyen directamente en sus propiedades físicas mecánicas.

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

DESARROLLO

Características del bagazo de caña

El bagazo de la caña, es el residuo pulposo seco que queda después de la extracción de jugo de caña de azúcar. (Xiong, 2018).

Tabla 1.
Composición Química del Bagazo, Fibra, corteza y pulpa.

Compuestos	Bagazo de caña de azúcar en crudo (%)	Fibra (wt%)	Núcleo (wt%)	Pulpa (wt%)
Cell-soluble mater	4.2	0.9	10.1	-
Hemicellulose	28.5	20-30.8	30.8	-
Cellulose	50.4	30.3-59.7	39.3	63.6
Lignin	14.9	13-26	15.3	5.95
Ash	2.0	0.6-1.8	3.2	0.75
Crud Protein	1.59	1.31	1.85	-

Fuente: Xiong (2018)

Tabla 2.
Resumen de las propiedades de la fibra de bagazo.

Diámetro(mm)	Densidad(kg/m ³)	Resistencia a la Tensión (Mpa)	Módulo de Young 's (Mpa)	Rotura Elástica (%)
0.3-0.5	344-360	70-107	4500	3-7

Fuente: Xiong (2018)

Ceniza de Bagazo de Caña

Es un material de desecho no cohesivo que tiene una gravedad específica pequeña, relativamente más pequeña que la del suelo normal, y se comporta como material puzolánico (Tri Hatmoko & Suryadharma, 2019)

Características Físicas

La escoria de bagazo de caña de azúcar (CBCA) es un material que muestra buenas propiedades puzolánicas. Se obtiene al quemar entre 800 y 1000 °C durante 20 min el bagazo; dichas características dependen de la técnica y eficacia de las centrales térmicas (Chindaprasirt, Sujumnongtokul, & Posi, 2019) (Lorca Aranda, 2014).

Tabla 3.
 Características Físicas de CBCA.

Características Físicas	CBCA (como se recoge)	CBCA procesado	Norma relevante
Gravedad específica	1,91	2.12	IS4031-Parte 11 (BIS 1988b)
Superficie específica (Blaine)	145 m ² /kg	300 m ² /kg	ASTM C204-11 (ASTM 2011b)
Pérdida por ignición	21 %	6 %	IS 1727 (BIS 2004)
Consistencias	50%	40%	IS 4031 ,PARTE 4 (BIS 2005)
Tiempo de fraguado inicial	195 minutos	190 minutos	IS 4031 ,Parte 5 (BIS 1988a)
Tiempo de fraguado terminal	330 min	285 minutos	IS 4031, Parte 5 (BIS 1988a)

Fuente: Deepika, Anand, Bahurudeen, & Santhanam (2017)

Características Químicas

La escoria de bagazo crudo está compuesta principalmente de sílice (60–75%), CaO, K₂O y otros óxidos menores, incluido Al₂O₃ Fe₂O₃ (Bahurudeen, Wani, Abdul Basit, & Santhanam, 2016).

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

Tabla 4.
 Composición de óxido de CBCA según autores.

N°	Autor y Ciudad	SiO2	Fe2O3	Al2O3	CaO	MgO	SO3/ SO4	K2O	LOI
1	(Abdolkarim Abbasi & Amin Zargar, 2013) (Iran)	44.70	2.90	2.40	14.9	3.5	N.A	4.40	16.7
2	(Abdulkadir, T.S., Oyejobi, D.O, & Lawal, A.A, 2014) (Nigeria)	72.85	6.96	1.08	9.97	6.49	N.A	6.77	4.23
3	(Asma , NasirShafiq, MuhdFadhilNu ruddin , & Fareed , 2014) (Sudan)	77.25	4.21	6.37	4.05	2.61	0.11	2.34	1.40
4	(Otoko, 2014)(Nigeria)	41.15	2.70	7.00	3.20	0.12	0.03	8.75	17.7
5	(Lathamahesw ari, Kalaiyarasan, & Mohankumar, 2017)	67.82	2.56	6.33	1.54	2.03	-	2.87	2.31

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

6	Flyash- F (Mettur, India)	54.40	11.32	25.60	2.03	0.92	1.70	0.73	1.32
7	Cement	20.24	4.61	2.89	66.7	1.63	2.31	0.29	1.43

Fuente: Deepika, Anand, Bahurudeen, & Santhanam (2017),

Utilización de la ceniza de bagazo de caña en el hormigón

El uso de cenizas de bagazo como material de cementación suplementario ha sido un tema de gran interés para los investigadores desde hace mucho tiempo (Farnaz , Arjumend , & Mehmood , 2019) y se puede utilizar como reemplazo de cemento en hormigón (Sajjad et al., 2017).

Ceniza de bagazo y sus efectos sobre las propiedades físico –mecánicas del hormigón.

Materiales

a. Cemento.

Para la preparación de un concreto y mortero con CBCA se usa generalmente cemento Portland ordinario (Sundaravadivel & Mohana , 2018) , de 53 grados conforme a IS: 12269-2009 y se utilizó en todas las mezclas. La gravedad específica y la finura de Blaine de las muestras de cemento son 3,15 y 370 m/kg, respectivamente (Manjunath & Rahul, 2019)

b. Agregado Fino

Se utiliza arena fluvial disponible en la región con una gravedad específica de 2.613. Las fracciones de 4,75 mm a 150 μ se denominan agregados finos, y la densidad a granel en estado suelto y estado rodado son 1550.463 kg/m³ y 1699.945 kg/m³ respectivamente. El porcentaje de absorción de agua es del 4,562% (Lakshmi Priya & Ragupathy, 2016)

c. Agregado Grueso

Se utilizan los agregados triturados de 20 mm de tamaño nominal de la fuente local y su gravedad específica es de 2,31. El volumen densidad en estado flojo y estado rodado son 1778.618 kg/m³ y 1907.981 kg/m³ respectivamente. El porcentaje de absorción de agua es del 0,217% (Lakshmi Priya & Ragupathy, 2016)

d. Súper plastificante

Los súper plastificantes o los reductores de agua de alto rango son aditivos químicos utilizados donde se requiere una suspensión de partículas bien dispersas. Eso se puede agregar a las mezclas de concreto para mejorar la trabajabilidad, reducir la relación agua-cemento y reducir el contenido de cemento. Los reductores de agua típicos reducen el contenido de agua en aproximadamente un 5-10%. (Sundaravadivel & Mohana , 2018)

Se usó un superplastificante a base de policarboxilato como agente reductor de agua en mezclas SCC. Está libre de cloruros y tiene una densidad de 1.09 g / cm³ (Duc, Yeong, & My Ngoc, 2018)

e. Ceniza de Bagazo de caña de azúcar(CBCA)

La ceniza adquirida se obtuvo en la Máquina de abrasión de Los Ángeles en el momento en que la cantidad retenida en el tamiz de 45 mm era inferior al 5% (Nasir, Asma, Muhd, & Hashem , 2016)

Aquí, el procesamiento de ceniza de bagazo implica (i) incineración de ceniza de bagazo cruda en 600°C durante 2 h, y (ii) la molienda de cenizas gruesas de bagazo son transformados en molinos de bolas a una velocidad de 40 rpm durante 120 min que disminuye el tamaño de las partículas y aumenta la finura y la actividad puzolánica de la ceniza (Bayapureddy, Muniraj, & Gangireddy Mutukuru, 2020).

Propiedades del hormigón con CBCA

Para esta sección se realizó un compendio de documentos de investigaciones contenidas en la literatura a partir del año 2007, poniendo atención en los niveles de reemplazo del cemento portland por escoria de alto horno generados a partir de la caña de azúcar y el efecto causado en las propiedades físico-mecánicas del concreto endurecido a las edades de 28 días. Se pudo analizar a partir de un sondeo bibliográfico de aproximadamente 14 artículos donde la CBCA se utilizó como método de reemplazo parcial en el hormigón apoyado en los diferentes sistemas de procesamiento.

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

Tabla 5.

Comparación de varios trabajos de investigación publicados entre el 2007 y 2020.

Equipo de investigación/ Autor	Métodos /Proceso	Proporción de Mezcla	Trabajabilidad	Resistencia a la compresión f'c	Resistencia a la Flexión	Ciudad de Estudio	Año de Publicación
(K. Ganesan, K. Rajagopal , & K. Thangavel, 2007)	Quemado a temperatura controlada a 650 C durante una hora.	M0(a/c) y M(a/c+cbca) mezclas con una relación de 0.53	Mezcla con el 10% de reemplazo mejoro la trabajabilidad (115mm) a comparación de la mezcla patrón (98mm)	Mezcla con el 10% de reemplazo mejoro en un 17 % la resistencia a la compresión (33.86 N/mm2)a 28 días	El valor de resistencia a la tracción se da con el 20% de CBCA siendo el límite óptimo. Con referencia a la resistencia a sulfatos las adherencia disminuye en comparación con la mezcla patrón	India	2007
(G.C. Cordeiro, R.D. Toledo Filho, L.M. Tavares, & E.M.R.	Quemado entre 700°C y 900°C, Molienda usando	Las mezclas se elaboraron con cenizas de tamaños de partículas, con valores D50 que van desde 1,65 µm a	El mortero CBCA de hormigón proporciona la mayor resistencia a la compresión	-	-	Brasil	2008

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

Fairbairn, 2008)	molino de bolas para 240min Tamizado usando Tamiz de 45 µm	76.3 µm , se prepararon con una constante 1:9:2 (peso base) relación hidróxido de calcio- arena-mineral					
(Chusilp, Jaturapitakkul , & Kiattikomol, 2009)	La ceniza de bagazo se mejoró moliendo en una molino de bola hasta que las partículas retenidas en un tamiz de 45 µm eran	M0(A/C=0.73),M10(a/c=0.75),M20(a/c= 0.74,0.76,0.82),M30 (a/c=0.75,0.77,0.78, 0.92)	-	Entre el 10-30% de CBCA da un Resultado mayor o igual del hormigón base.	Con 20% de CBCA da una alta resistencia al sulfato.	Tailandia	2009

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

	inferiores al 5% y fue entonces poner en un horno a 550 C durante unos 45 min.						
(Sales & Lima, 2010)	la caracteriza ción se secó al horno a 100oC durante 12 h y molió durante 3 min en	Se usó para todas las mezclas una relación a/c de 0.55	Con cemento Portland de alta resistencia temprana resistencia al sulfato(CV) mejora la trabajabilidad reemplazando en 50% ,cemento de escoria de alto horno(CIII) se produce una disminución	Con cemento Portland de alta resistencia temprana resistencia al sulfato(CV) disminuye la resistencia a la compresión ,cemento de escoria de alto	Para CV la tracción disminuye adicionando escorias pero el módulo de elasticidad aumenta , para CIII la tracción mejora al reemplazar en 50% al igual que el Modulo de Elasticidad, para la CII mejora para un 50% de reemplazo en cambio para el módulo de elasticidad	Brasil	2010

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

	un molino mecánico		(cemento Portland modificado por la escoria(CII) presenta un aumento para un reemplazo de 30%	horno(CIII) se produce una disminución y para cemento Portland modificado por la escoria(CII) presenta un aumento para un reemplazo de 50%	mejora al 30% de sustitución		
(Amin, 2011)	quemado a 650°C durante 1h	Para todas las mezclas relación a/c ≈ 0.45	-	El reemplazo entre el 5% y el 15% mejora la resistencia a compresión	Mejora la resistencia a la tensión para valores entre el 5 % y 15% de reemplazo ,Presenta una resistencia apreciable a la permeabilidad y difusión del cloruro	Pakistán	2011

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

(Somna , Jaturapitakkul , Rattanachu, & Chalee , 2012)	Tamizado usando Tamiz de 45 µm	Se tomó una relación a/c ≈0.45 constante para todas las mezclas ,se añadió súper plastificante para mezclas que contienen reemplazo porcentual	Presentan un Slump entre 60 y 80 mm a comparación de la muestra control(70 mm)	20% de CBCA da una mayor resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.	Del 20–35% del CBCA mejora la permeabilidad al agua Hasta el 50% del CBCA da resistencia al cloruro	Tailandia	2012
(Montakarnti wong, Chusilp, Tangchirapat, & Jaturapitakkul , 2013)	Quemado a una temperatura entre 800°C y 100° C , La ceniza de bagazo se mejoró moliendo	Se tomó una relación a/c ≈0.45 constante para todas las mezclas ,se añadió súper plastificante para mezclas que contienen reemplazo porcentual, además	para las muestras OB el Slump oscila entre 60 y 100 mm ,en cambio para las GB su Slump varía entre 60 mm y 75 mm en comparación de las muestras normales	La resistencia a la compresión se ve afectada en referencia a la mezcla patrón y disminuye tanto para las mezclas con OB y para la GB aumenta la resistencia al	-	Tailandia	2013

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

	en una molino de bola hasta que las partículas retenidas en un tamiz de 45 µm eran inferiores al 5%	se realizaron con muestras directas de la industria (OB) y otras molidas (GB)		adherir el 20% de reemplazo			
(K.Rekha & R.Thenmozhi, 2014)	Quemado a 700 °C por una hora	M(1:1.5:3)	la sustitución del 5% de CBCA se considera un nivel óptimo de tener una capacidad de trabajo adecuada	Para la sustitución del 5% de CBCA por cemento, las características aumenta en un 30%	Para la sustitución del 5% aumenta en un 10% en resistencia a la tensión, Para la sustitución del 5% aumenta en un 8% en resistencia a la Flexión.	India	2014

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

(Almeida, Sales , Moretti , & Mendes, 2015)	Quemado a 700 °C para 3h Tamizado usando Tamiz de 90 µm	Para la mezcla patrón (M0)se usó una relación a/c ≈0.42 ,para mezcla con 30% de reemplazo(M30) a una a/c≈0.44 y para la mezcla con 50% de reemplazo(M50) una relación de a/c ≈0.47	Las M0 obtuvieron 250±10 ,para los M30 obtuvieron 251±10 y para los M 50 ≈258±10	15-20% de CBCA alcanzado Mayor resistencia a la compresión en etapas posteriores	15-20% de CBCA disminuye la porosidad y alcalinidad del mortero	Brasil	2015
(Nasir, Asma, Muhd, & Hashem , 2016)	La ceniza adquirida fue pasada por la - Máquina de abrasión de Los Ángeles en	Se realizaron mezclas con 0% hasta 50% adicionando súper plastificante , Se tomó una relación a/c ≈0.38 constante para todas las mezclas	Para el hormigón de referencia, NC, se obtuvo un valor de desplome de 160 mm, mientras que el hormigón con un contenido del CBCA al 30% mostró una caída de 215 mm.	5% de contenido de CBCA mostró un incremento de alrededor del 50% en resistencia a la compresión , Incluso	5% de contenido de CBCA mostró un incremento de alrededor del 50% en resistencia a la tracción	Malaysia – Arabia Saudita	2016

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

	el momento en que la cantidad retenida en el tamiz de 45- μ /m era inferior al 5%.			entre el 35 y el 50% de contenido del SCBA mostró mayor resistencia a 28 y 90 d.			
(Sajjad , y otros, 2017)	Pasa Tamiz 300 μ m	M20 (1:1 ½:3) M15 (1:2:4)	M20: con 5% de reemplazo aumenta entre 15% y con 10% de adherencia aumenta en un 28%. M15: con 5% de reemplazo aumenta entre 34% y con 10% de adherencia aumenta en un 45%	M20: Con 5% de reemplazo de cemento es el porcentaje óptimo produce 28.50 N/mm2 en promedio. M15: Con 5% de reemplazo de cemento es el	-	Pakistán	2017

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

				porcentaje óptimo produce 26.775 N/mm ² en promedio.			
(Rajasekar, Arunachalam, Kottaisamy, & Saraswathy, 2018)	ceniza fue incinerada bajo condiciones controladas en el horno para diferentes temperaturas entre	Relación agua/cemento de 0.18	Reemplazo del 5%, la capacidad de trabajo estaba a la par con la mezcla de control.	Para el 10%, el 15% y el 20%, hubo un considerable aumento de la resistencia en comparación con el hormigón de control. La mejora de la resistencia a la compresión está	Reduce la penetración de iones de cloruro al sustituirlo porcentualmente	India	2018

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

	450 °C y 650 °C con Variación de 50 °C			entre el 0,4% y el 13,5%			
(Manjunath & Rahul, 2019)	se usó cemento Portland ordinario de 53 grados (OPC)	Se desarrollaron un total de 12 mezclas de concreto SCC basadas en CBCA con OPC como el principal aglutinante en el rango de 450–500 kg / m ³ con niveles de reemplazo de CBCA en 10, 20, 30 y 40% en consideración. Todas las mezclas tenían una relación	Muestran un comportamiento mejorado en términos de fluidez.	En contenidos superiores al 20% ha llevado a un rendimiento de resistencia a la compresión disminuido, Las mezclas desarrolladas mostraron valores de resistencia a la compresión que oscilan entre 40 y 55.8 MPa	en contenidos superiores al 20% ha llevado a un rendimiento de resistencia a la tensión disminuido, valores de resistencia a la tensión de división entre 3 y 4.5 MPa a la edad de 28 días sin afectar las propiedades de fluidez, con un reemplazo óptimo del CBCA de 20%. La absorción de agua de todas las mezclas de prueba también es satisfactoria, con	India	2019

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

		constante w / b de 0,45 con un 2.5% de súper plastificante.			valores que oscilan entre un bajo 3-4%.		
(Andrade Neto , Santos de França, Santana de Amorim Júnior, & Véras Ribeiro, 2020)	La CBCA fue calcinada a 600° C, tiene una alta actividad puzolánica debido a la presencia de sílice	La relación agua-cemento (a/c) se estableció como 0,53 y se definió después de corregir el valor de desplome para el hormigón de referencia	La menor trabajabilidad del hormigón son las que contiene CBCA podría generar más vacíos durante el moldeo de los especímenes, por lo cual resultaría en una mayor porosidad en el estado endurecido, disminuyendo el	La adición de hasta un 15% de CBCA dio lugar a reducciones en la porosidad y absorción y mejoras en la resistencia, debido al efecto físico, mejor embalaje, y la reacción puzolánica	La adición de CBCA dio lugar a una vida útil más alta contra la penetración de iones de cloro.	Brasil	2020(2021)

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

	amorfa y alúmina		rendimiento mecánico y las propiedades relacionadas con la durabilidad.				
--	---------------------	--	--	--	--	--	--

Para las mezclas anteriormente mencionadas se usó cemento portland y escoria. Normalmente la cantidad de agua usada para elaborar la mezcla de hormigón está especificada de forma implícita en la relación agua/cemento (a/c), Sin embargo existen casos particulares donde no se usa únicamente agua para la preparación de la mezcla sino que se requiere de alguna solución activadora de algún subproducto, entonces el término empleado es s/mc que representa la solución acuosa con el agente químico (solución alcalina) y material cementante. La resistencia a la compresión del hormigón en función de la densidad de concreto permite comparar la densidad de hormigón mezclado a distintas edades observar que donde existe una relación directa, donde a mayor densidad produce mayor resistencia a la compresión (Jagadesh, Ramachandramurthy, & Murugesan, 2018)

Fibra de bagazo y su efecto en las propiedades Físico –Mecánicas del hormigón

Cuando se aplican las modificaciones y los procedimientos de fabricación apropiados, el SCB muestra propiedades mecánicas mejoradas tales como la resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, módulo de flexión, dureza, y resistencia al impacto (Loh, Sujan, Rahman, & Das, 2013)

Para el bagazo crudo, se sumerge en agua a 30° C durante 30 min. y luego se seca al aire libre durante 14 días. La intención de este proceso era reducir el residuo contenido de azúcar del bagazo y eliminar las impurezas (Ribeiro, Yamamoto, & Yamashiki, 2020); posteriormente, se tamiza el bagazo crudo. Las fibras de bagazo (BF) del estudio pasaron por un tamiz de 4,76 mm y permanecieron en un Tamiz de 2 mm con una variación de longitud entre 8mm y 44 mm (Ribeiro, Yamamoto, & Yamashiki, 2020)

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

Tabla 6.
 Investigaciones realizadas referentes a la fibra de Bagazo de caña.

Equipo de investigación/Autor	Método/ Proceso	Proporción de la mezcla	Trabajabilidad	Resistencia a la compresión f'c	Resistencia a la Flexión	Ciudad de estudio	Año de publicación
(Loh, Sujana, Rahman, & Das, 2013)	Las fibras de bagazo fueron inmersas en Hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24°C, para darle una protección del medio alcalino de la Pasta de cemento. Finalmente se obtienen fibras, una del tamaño del tamiz N°4 y el otro N° 6	M(P) M+0.5 %AG M+2.5 %AG M+5%A G)	-	Para la muestra patrón es de 15.7 MPa; para las muestras con fibra que pasa el tamiz N°4 en proporciones de reemplazo del 0.5%, 2.5% y 5% fueron 13.43, 4.92 y 1.65 MPa respectivamente. Asimismo 16.88, 8.6, 2.42 MPa para las muestras con fibras que pasan el tamiz N°6	-	Medellín	2007

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

(Osorio Saraz, Varón Aristizabal, & Herrera Mejía, 2007)	Se lavó y secó la fibra, posteriormente se procedió a cortarlas con longitud de 15 mm a 25 mm. Adicionalmente se trató con una solución de hidróxido de calcio a 5% por protección al medio alcalino de la pasta del cemento. Finalmente se trabajó con 2 grupos de muestras, los del tamiz N°4 y N°6	M(P) M+0.5 % M+25% M+5%	Al ser una mezcla seca con la proporción de a/c=0.55, se afirma que es una mezcla trabajable. Cable resaltar que se añadió 3% de cloruro de calcio como acelerador de fragua.	Para las fibras del tamiz N°4 la M(P)=15.7 MPa, y para los de adición del 0.5%, 2.5%, 5% fueron 13.43, 4.92 y 1.65 MPa respectivamente. Para las fibras del tamiz N°6 la M(P) = 15.7 MPa, y para las muestras con adición 16.88, 8.6, 2.42 MPa. Demostrando claramente que el porcentaje de 0.5 % de reemplazo por fibra de la maya N°6, es la proporción ideal para este concreto.	La densidad del grupo del tamiz N°4 es M(P)=2325.83 MPa y de los adicionados con fibra es 2258.92, 2025.96, y 1950.52 MPa respectivamente. Del grupo del tamiz N°6, la M(P)=2325.83 MPa, y de los adicionados son 2266.18, 2034.00, y 1998.10 MPa respectivamente. Estos resultados definen que la densidad de ambos grupos de mezclas con dimensiones de fibras diferentes, disminuyen su densidad.	Medellín	2007
(Muhamad , y otros, 2013)	Obtención del bagazo crudo (sin tratamiento)	M(P) M+1% M+3% M+5%	En la prueba de penetración el concreto agregado con bagazo de caña de azúcar permitió que la aguja del aparato Vicat para penetrar en el hormigón fresco dure más tiempo. A dos horas, la muestra de control ya no se	M(P)= 28.97 M+1%= 48.83 M+3%= 42.00 M+5%= 36.40 (N/mm2)	Aplicando un carga de 0.2 KN/s, se obtiene: M(P)= 1.60 M+1%= 2.20 M+3%= 2.00 M+5%= 1.80	Malaysia	2013

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

			<p>puede penetrar mientras el hormigón agregado con 1% de bagazo de caña de azúcar todavía se puede penetrar en un promedio de 12,33 mm a las dos horas. Para el bagazo de caña de azúcar al 5%, la muestra no puede penetrar en cinco horas.</p>		<p>(N/mm²), Adicionalmente se hizo pruebas de tracción aplicando una carga de 0.94kN/s donde los resultados fueron:</p> <p>M(P)= 1.45 M+1%= 2.10 M+3%= 2.00 M+5%= 1.70 (N/mm²)</p>		
<p>(Huertas, Martinez, & Espitia, 2019)</p>	<p>Se lavó la fibra con agua destilada y se dejó secar a temperatura ambiente por 30 días, posteriormente se seleccionan fibras de 2 a 6 cm de longitud aproximado y con diámetro 0.157 mm aproximado</p>	<p>M(P) M+0.4 % M+0.6 % M+0.8 %</p>	-	<p>Se analizó a los 7, 14 y 28 días, pero se consideran los resultados últimos (28 días) en 2750, 2400, 2750 y 2390 PSI. Si se sabe que se tiene como referencia uno concreto de diseño de 3000 PSI, se asume que el espécimen de 0.6% BF es la proporción ideal.</p>	-	Bogotá	2019

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

(Wegdan W. , 2020)	Tratamiento alcalino para subir su PH, luego se seca al sol por 7 días; luego se corta en longitudes entre 5cm y 10cm para sumergirlas en solución de hidrox. Sodio al 50% de concentración por 2 horas a temperatura ambiente. Finalmente se lava para eliminar la alcalinidad sin reaccionar y se seca al horno a 80 °C.	M(P) M - 0.5% M - 1% M - 1.5%	-	Muestra patrón 30 MPa; para las muestras que tienen 0.5%, 1% y 1.5% de reemplazo de BF son 30.3 , 31, 32 MPa respectivamente	Aplicando ensayos de tracción la muestra patrón sin adición muestra un resistencia de 2.1 MPa; mientras que las muestras con adiciones del 0.5%, 1%, y 1.5% de BF muestran resistencias de 2.15, 2.25, 2.3 MPa. Con estos resultados se demuestra que la resistencia a la tracción es directamente proporcional al aumento en porcentajes de BF que se agrega a la muestra.	Alejandría	2020
(Ruano, y otros, 2020)	Se utiliza fibra cruda de bagazo de caña de azúcar (sin ningún proceso para mejorar sus características).Además se utilizó cemento CPC30	-	-	-	tracción uniaxial de bagazo mostraron una resistencia media de 82 MPa con s = 33 MPa (s es la desviación estándar). El Módulo elástico fue de alrededor de 5600 MPa con s = 2900 MPa.	Argentina	2020

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

(Ribeiro, Yamamoto, & Yamashiki, 2020)	Remojo por 30min en agua a 30 ° C	M(P) y M+BF2 M+BF5	La muestra de control tuvo un revenimiento de 6.7 cm; mientras que la muestra de BF2 cayó 5.8 cm; finalmente la muestra BF5 disminuyó en 3.5 cm.	Aproximadamente son 47.50, 46.00 y 39.00 (N/mm2) respectivamente.	4.63, 4.77, 4.83 (N /mm2)	Kyoto	2020
--	-----------------------------------	--------------------------	--	---	---------------------------	-------	------

Sócrates Pedro Muñoz Pérez; Ramiro Stalin Coronel Camino; Julio César Vargas Villafuerte

CONCLUSIONES

La escoria de bagazo que es retenida en el tamiz de 45 μm proporciona la mejor actividad puzolánica.

Quemando el material entre los 600-800°C y moliendo a 120 min da el 100% de actividad puzolánica.

Podríamos concluir que entre el 20-30% de CBCA mejora la trabajabilidad y la resistencia a compresión y a la flexión.

La fibra de bagazo de caña de azúcar, cumple con mejorar la propiedad mecánica del concreto, siendo ideal, el uso de fibra procesada, entre 5 y 15 cm de longitud de fibra.

El reemplazo de fibra de bagazo de caña de azúcar en relación al peso de agregados, cumple mejorando la resistencia a la compresión, tracción; siendo los porcentajes más adecuados entre 0.5 hasta el 3%; estos porcentajes no solo mejoran las propiedades del concreto, sino también disminuyen el volumen de agregados y cemento que se utilizarían en la mezcla reduciendo su costo, y sin alterar su calidad y propiedades.

En el caso que se desee, elaborar una mezcla considerando proporciones de acuerdo a volúmenes, el concreto con fibra de bagazo de caña de azúcar, sería un concreto más liviano, pero con buenas características funcionales estructurales.

La fibra de bagazo de caña de azúcar incorporada a la mezcla de concreto tiende a ampliar el tiempo de fraguado, superando las 2 horas, según el ensayo de penetración con la aguja Vicat.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán por el apoyo institucional.

REFERENCIAS

- Abdolkarim Abbasi, & Amin Zargar. (2013). Using bagasse ash in concrete as Pozzolan, Middle-East. *Journal of Scientific Research*, 13(1990-9233), 716-719.
- Abdulkadir, T.S., Oyejobi, D.O, & Lawal, A.A. (2014). Evaluation of sugarcane bagasse ash as a replacement for cement in concrete works. *ACTA TEHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering*, 7, 71-76.
- Almeida, F., Sales , A., Moretti , J., & Mendes, P. (2015). Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. *Construction and Building Materials*, 82, 31-38. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.039>
- Amin, N.-u. (2011). Use of Bagasse Ash in Concrete and Its Impact on the Strength and Chloride Resistivity. *Journal of Materials*, 23, 717-720.
- Andrade Neto , J., Santos de França, M., Santana de Amorim Júnior, N., & Vêras Ribeiro, D. (2020). Effects of adding sugarcane bagasse ash on the properties and durability of concrete. *Construction and Building Materials*, 266, 1-13.
- Asma , A., NasirShafiq, MuhdFadhilNuruddin , & Fareed , A. (2014). Compressive strength and microstructure of sugar cane bagasse ash concrete, Research Journal of Applied Sciences. *Engineering and Technology*, 7, 2569-2577.
- Bahurudeen, A., Wani, K., Abdul Basit, M., & Santhanam, M. (2016). Assesment of Pozzolanic Performance of Sugarcane Bagasse Ash. *American Society of Civil Engineers.*, 1-11. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001361
- Bayapureddy, Y., Muniraj, K., & Gangireddy Mutukuru, M. (2020). Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in cement composites: strength, durability, and microstructural analysis. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1007/s43207-020-00055-8>
- Berenguer , Nogueira, Marden, Barreto, Helene, & De Melo. (2018). La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros. *Revista ALCONPAT*, 8(1), 30-37. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.187>
- Boontima , B., Noomhorm , A., Puttanlek, C., Uttapap, D., & Rungsardthong, V. (2014). Mechanical Properties of Sugarcane Bagasse Fiber-Reinforced Soy Based Biocomposites. *Springer Science+Business Media*, 1, 1-10. doi:[DOI 10.1007/s10924-014-0679-2](https://doi.org/10.1007/s10924-014-0679-2)

- Cabrera-Madrid, J., Escalante-García, J., & Castro-Borges, P. (2016). Compression resistance of concretes with blast furnace slag. Re-visited state-of-the-art. *ALCONPAT Journal*, 64-83. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.21041/ra>.
- Chindaprasirt, P., Sujumnongtokul, P., & Posi, P. (2019). Durability and Mechanical Properties of Pavement Concrete Containing Bagasse Ash. *ScienceDirect*, 1612-1626.
- Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., & Kiattikomol, K. (2009). Effects of LOI of ground bagasse ash on the compressive strength and sulfate resistance of mortars. *Construction and Building Materials*, 23, 3523-3531. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2009.06.046](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.046)
- Deepika, S., Anand, G., Bahurudeen, A., & Santhanam, M. M. (2017). Construction Products with Sugarcane Bagasse Ash Binder. *Materials in Civil Engineering*, 1-10. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001999.
- Duc, H., Yeong, N., & My Ngoc, T. (2018). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete with sugarcane bagasse ash–slag blended cement. (Elsevier, Ed.) *Construction and Building Materials*, 138-147. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.029>
- Farnaz , B., Arjumend , M., & Mehmood , A. (2019). Characterization of Sugarcane Bagasse Ash as Pozzolan and Influence on Concrete Properties. *Science and Engineering*, 1-10. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04301-y>
- G.C. Cordeiro, R.D. Toledo Filho, L.M. Tavares, & E.M.R. Fairbairn. (2008). Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. *Cement & Concrete Composites*, 30, 410-418. doi:[10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001)
- Hernández-Olivares, F., Medina-Alvarado, R. E., Burneo-Valdivieso, X. E., & Zúñiga-Suárez, A. R. (2020). Short sugarcane bagasse fibers cementitious composites for building construction. *Construction and Building Materials*, 247(118451), 1-17.
- Huertas, L., Martinez, P., & Espitia, M. (2019). Analysis of compression resistance property of concrete modified with sugarcane (*Saccharum Officinarum*) bagasse fibers). *Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE)*, 1-4.

- Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., & Murugesan, R. (2018). Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 608-617. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>
- K. Ganesan, K. Rajagopal , & K. Thangavel. (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*, 29, 515-524. doi: [10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001)
- K.Rekha, & R.Thenmozhi. (2014). Evaluation of Mechanical properties of BAGcrete. *Advanced Materials Research* , 984-985, 693-697.
- Lakshmi Priya, K., & Ragupathy, R. (2016). Effect of sugarcane bagasse ash on strength properties of concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 159-164.
- Lathamaheswari, Kalaiyarasan, V., & Mohankumar, G. (2017). Study on Bagasse Ash As Partial Replacement of Cement in Concreto. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1-6.
- Loh, Y., Sujan, D., Rahman, M., & Das, C. (2013). Sugarcane bagasse -The future composite material A Literature Review. *Resources Conservation and Recycling*, 75, 14-22.
- Lorca Aranda, P. (2014). Efecto de la adición de Hidróxido Cálcico sobre mezclas con alta sustitución de cemento por ceniza volante. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Manjunath , R., & Rahul, M. (2019). Properties of Sugarcane Bagasse Ash Blended Self-Compacting Concrete Mixes. *Sustainable Construction*, 265-274. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0_24
- Montakarntiwong, K., Chusilp, N., Tangchirapat, W., & Jaturapitakkul, C. (2013). Strength and heat evolution of concretes containing bagasse ash from thermal power plants in sugar industry. *Materials and Design*, 413-420.
- Muhamad , A., Mohammed , A., Zulkifli , A., Nazrin , D., Nooraina , M., Siti Khadijah , C., . . . Mohamad , Y. (2013). Usage of Sugarcane Bagasse as Concrete Retarder. *International Journal of Business and Technopreneurship*, 3, 495-503.
- Murugesan, Vidjeapriya, & Bahurudee. (2020). Sugarcane Bagasse Ash-Blended Concrete for Effective Resource Utilization Between Sugar and Construction Industries. *Society for Sugar Research & Promotion* , 1-12. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00794-2>

- Nasir, S., Asma, A. H., Muhd, F. N., & Hashem, A. (2016). Effects of sugarcane bagasse ash on the properties of concrete. *Institution of Civil Engineers*, 1-10. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1680/jensu.15.00014>
- Osorio Saraz, J., Varón Aristizabal, F., & Herrera Mejía, J. (2007). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de bagazo de caña de azúcar. *DYNA*, 69-79.
- Otoko, G. (2014). Use of bagasse ash as partial replacement of cement in concrete. *International Journal of Innovative Research & Development*, 3, 285-289.
- Rajasekar, A., Arunachalam, K., Kottaisamy, M., & Saraswathy, V. (2018). Durability characteristics of Ultra High Strength Concrete with treated sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 350-356. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.140>
- Ribeiro, B., Yamamoto, T., & Yamashiki, Y. (2020). A Study on the Reduction in Hydration Heat and Thermal Strain of Concrete with Addition of Sugarcane Bagasse Fiber. *Journal materials*, 13, 1-14.
- Ruano, G., Bellomo, F., López, G., Bertuzzi, A., Nallim, L., & Oller, S. (2020). Mechanical behaviour of cementitious composites reinforced with bagasse and hemp fibers. *Construction and Building Materials*, 1-9.
- Sajjad, A. M., Jamaluddin, Wan, I., Abd, H. A., Abdul, A., Samiullah, S., & Nizakat, A. (2017). Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. *IOP Publishing Ltd*, 1-9. Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012001>
- Sales, A., & Lima, S. (2010). Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste Management*, 30, 1114-1122. [doi:10.1016/j.wasman.2010.01.026](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.026)
- Somna, R., Jaturapitakkul, C., Rattanachu, P., & Chalee, W. (2012). Effect of ground bagasse ash on mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. *Materials and Design*, 36, 597-603. [doi:10.1016/j.matdes.2011.11.065](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.11.065)
- Sounthararajan, V., Sivasankar, S., Vinodh Kumar, R., Modak, N., & Dilli Bai, K. (2019). Valorization of Specially Designed Concrete by Using Sugarcane Bagasse Ash and Inducing the Special Benefits of Waste Tin Fiber Reinforced Concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 220-224. doi:[10.35940/ijitee.L3589.1081219](https://doi.org/10.35940/ijitee.L3589.1081219)

- Sundaravadivel , D., & Mohana , R. (2018). Recent studies of sugarcane bagasse ash in Concrete and mortar: a review. *Revista Internacional de Ingeniería, Investigación y Tecnología* , 7, 306-312.
- Tri Hatmoko, J., & Suryadharma, H. (2019). Behavior of bagasse ash-calcium carbide residue stabilized soil with polyester fiber inclusion. *Materials Science and Engineering*, 1-12. doi:[10.1088/1757-899X/620/1/012066](https://doi.org/10.1088/1757-899X/620/1/012066)
- V.M. Sounthararajan, Y Stalin Jose, & ,S. Sivasankar . (2019). Synergetic Effect of Sugarcane Bagasse Ash with Low Modulus of Fiber Reinforced Concrete. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 7171-7175.
- Wegdan W. , E.-N. (2020). Applicability of Using Natural Fibers for Reinforcing Concrete. *Materials Science and Engineering*, 809, 1-7. [doi:10.1088/1757-899X/809/1/012018](https://doi.org/10.1088/1757-899X/809/1/012018)
- Xiong, W. (2018). Bagasse composites:A review of material preparation, attributes, and affecting factors. *Thermoplastic Composite Materials*, 31(8), 1112-1146.
- Y.R.Loh, D.Sujan, M.E.Rahman, & C.A.Das. (2013). Sugarcane bagasse-The future composite material :A literature review. *Resources, conservation and recycling*, 14-22.